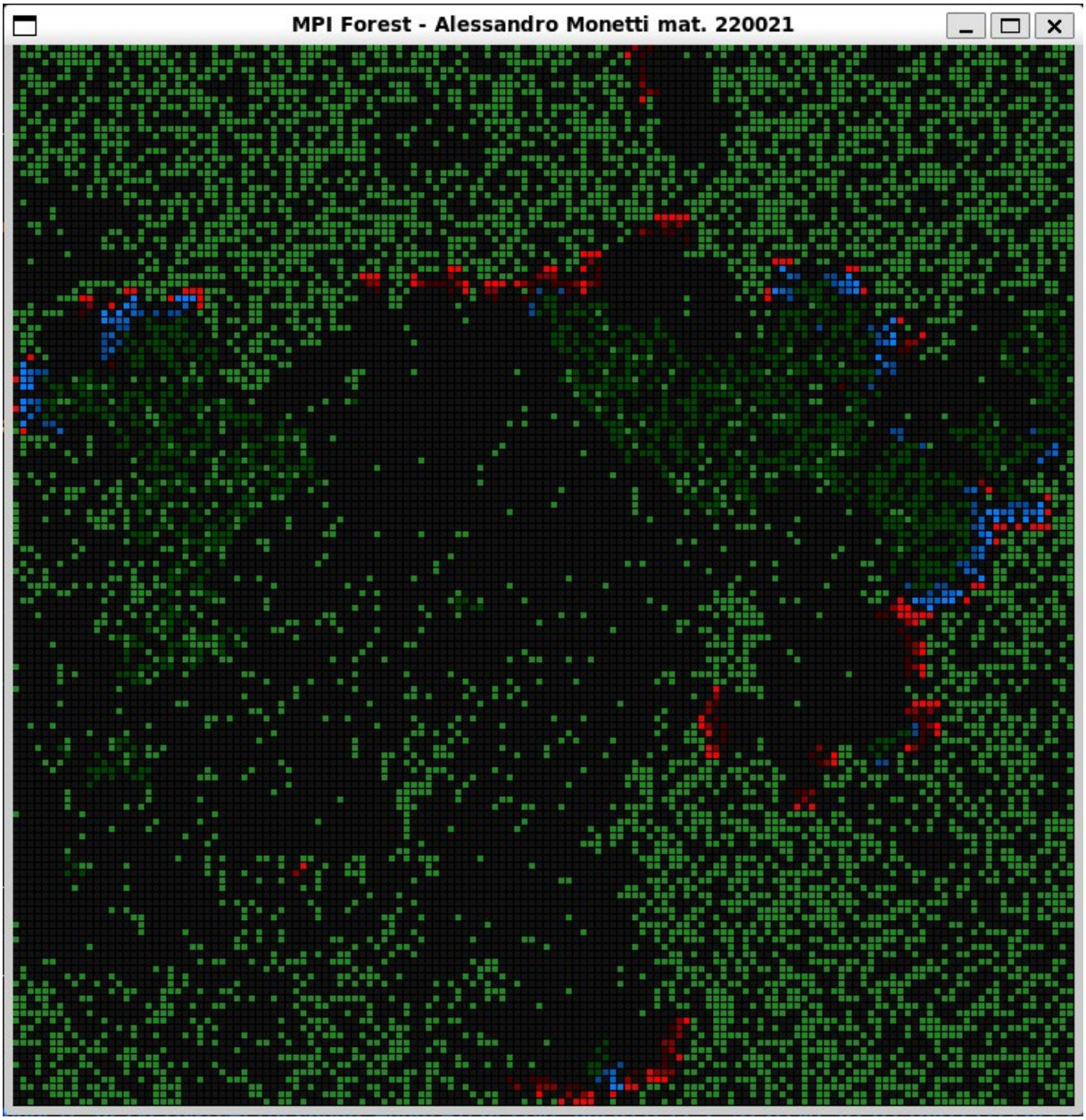
Progetto di

Algoritmi Paralleli e Sistemi Distribuiti

Forest Fire+



Alessandro Monetti - mat. 220021

L’automa cellulare “Forest Fire”

Il modello originale

Forest Fire è un’automa cellulare che simula il bioma della foresta e il suo peggior nemico: il fuoco.

All’istante 0 la foresta risulta completamente spoglia, e passo dopo passo, le celle che la compongono iniziano a trasformarsi in alberi, su una base puramente probabilistica.

Ogni albero, in qualsiasi momento, può prendere fuoco. Ciò accade se quest’ultimo viene colpito da un fulmine o uno dei suoi vicini è già in fiamme.

Una volta bruciato, al passo successivo l’albero scompare lasciando al suo posto una cella vuota.

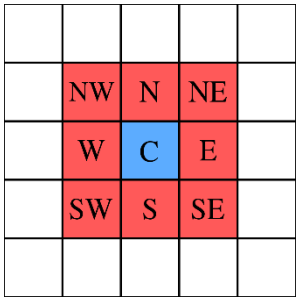


Fig. 1: Il modello di vicinato utilizzato è quello di “Moore” – courtesy of en.wikipedia.org

Il modello rivisitato

Il modello presentato, in versione appositamente rivisitata, presenta alcune sottili differenze dalla versione originale.

Ogni cella può avere 9 differenti stati, raccolti nel sorgente in una semplice enumerazione così composta:

```
states {EMPTY, TREE, BURNT_TREE, BURNING_LOW, BURNING_MID, BURNING_HIGH, WATER_LOW, WATER_MID, WATER_HIGH};
         0      1       2            3            4             5           6          7          8
```

Come è possibile notare dalla dichiarazione di cui sopra, è stata aggiunta l’acqua, che può essere gettata casualmente sul fuoco per poi seguirlo e spegnerlo, lasciando al suo posto un albero bruciacchiato, che ha più possibilità di una cella vuota di diventare albero.

Sono stati aggiunti, inoltre, sia per fuoco che per acqua, 2 stati ulteriori ciascuno, utilizzati per permettere l’effetto grafico di “sfumatura”.

I cambiamenti di stato

Di seguito la guida sui possibili cambiamenti di stato:

EMPTY: Può rimanere **EMPTY** oppure diventare **TREE** (con una probabilità dello 0,2%);

TREE: Può rimanere **TREE** oppure diventare **BURNING_HIGH** (tramite vicinanza a **BURNING_HIGH** o colpito da un fulmine con una probabilità dello 0,002%);

BURNT_TREE: Può rimanere **BURNT_TREE** oppure diventare **TREE** (con una probabilità dell' 1%);

BURNING_LOW: Può diventare **EMPTY** oppure diventare **WATER_LOW** se entra a contatto di: { **WATER_LOW**, **WATER_MID**, **WATER_HIGH** };

BURNING_MID: Può diventare **BURNING_LOW** oppure diventare **WATER_MID** se entra a contatto di: { **WATER_MID**, **WATER_HIGH** };

BURNING_HIGH: Può diventare **BURNING_MID** oppure diventare **WATER_HIGH** (tramite vicinanza a **WATER_HIGH** o bagnato dagli aerei antincendio con una probabilità dello 0,02%)

WATER_LOW: Diventa **BURNT_TREE**;

WATER_MID: Diventa **WATER_LOW**;

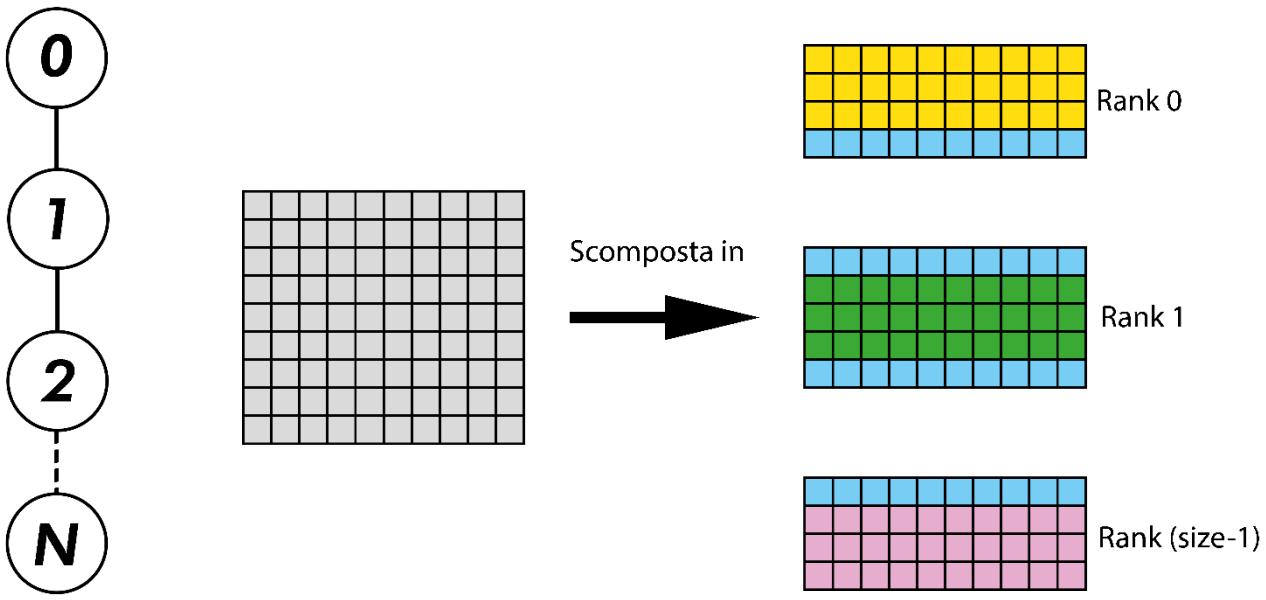
WATER_HIGH: Diventa **WATER_MID**;

L’implementazione

Per lo sviluppo della versione parallela di questo progetto si è deciso di affiancare al comune linguaggio di programmazione “C” il protocollo di comunicazione “MPI” (Message Passing Interface), usato generalmente per l’elaborazione parallela su cluster di computer.

Per poter rendere possibile ciò è stato necessario dividere i dati da gestire ai vari rank (processi).

Per la suddivisione dei processi si è pensato di fare utilizzo di una topologia virtuale di tipo cartesiano monodimensionale (senza periodicità, poiché non necessaria) integrata in MPI (MPI_Cart_create() ed MPI_Cart_shift()), con orientamento verticale (puramente frutto di convenzione), per ottenere un alto grado di parallelizzazione riducendo l’overhead derivante da un’eccessiva comunicazione.



Figg. 2-3: A sinistra la topologia virtuale utilizzata, a destra una demo di scomposizione della matrice, con ghost cells (in azzurro)

Ad ogni iterazione del ciclo principale, ogni rank (processo) effettuerà le seguenti operazione nell'ordine:

- Invio bordi (non bloccante) ai nodi adiacenti;
- Applicazione funzione transizione all'interno del nodo eccetto bordi;
- Ricezione bordi (bloccante) dai nodi adiacenti e inserimento in ghost cells;
- Applicazione funzione transizione ai bordi del nodo;
- Scambio piani di lettura e scrittura;
- Invio matrice lettura al nodo che si occupa della grafica.

Le comunicazioni vengono fatte tra i processi utilizzando le funzioni MPI_Isend() ed MPI_Recv().

La simulazione prevede anche una visualizzazione grafica utilizzando la libreria "allegro5" per rappresentare lo stato corrente dell'automa.

Per rendere più agevole l'invio dei dati tra i vari rank si è inoltre scelto di fare uso di due MPI_Datatype (contigui) derivati creati ad hoc:

- MPI_MYROW composto da nCols MPI_INT
- MPI_MYLOCALMATRIX composto da (nRows/size)*nCols MPI_INT

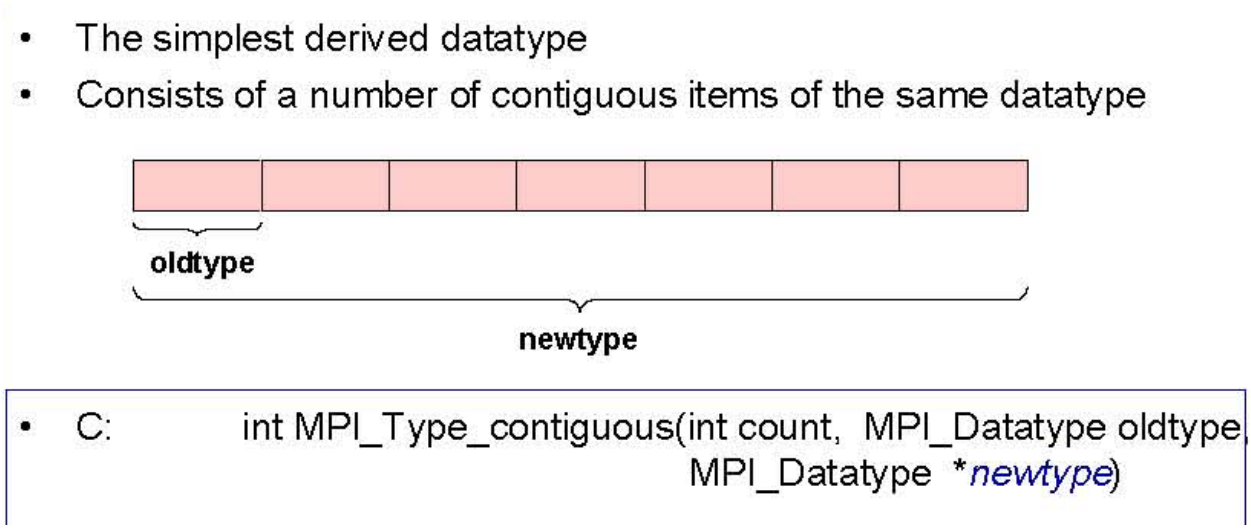


Fig. 4: MPI_Type_contiguous(...) – courtesy of Prof. William Spataro

I risultati

Premesse

Per vedere in gioco l'effettiva utilità del calcolo parallelo, sono state prese diverse misurazioni, sulla seguente macchina:

CPU: Ryzen 7 3700X @ 4,35GHz (8 Cores/16 Threads)

RAM: Crucial Ballistix 4x8 (32GB) @ 3600MHz (Cas Latency di 16)

I tempi (mostrati di seguito in *millisecondi*) sono stati presi su una media di 10 misurazioni per ciascun test case (250 misurazioni totali) e sono stati presi (ad eccezione dell'ultimo gruppo) dopo 100 step, con 1, 2, 4, 8 e 16 processi, e matrici di dimensioni 128x128, 256x256, 512x512 e 992x992, senza flag di ottimizzazione in fase di compilazione.

```
After 100 steps: {
    CA matrix size (128 x 128)
        1 thread :   25,271247      Speedup:  1             Efficiency: 1
        2 threads:   12,784562      Speedup:  1,976700      Efficiency: 0,988350
        4 threads:    6,654327      Speedup:  3,797716      Efficiency: 0,949429
        8 threads:    4,204924      Speedup:  6,009917      Efficiency: 0,751239
       16 threads:    2,973017      Speedup:  8,500202      Efficiency: 0,531262

    CA matrix size (256 x 256)
        1 thread :  101,078122      Speedup:  1             Efficiency: 1
        2 threads:   51,106359      Speedup:  1,977799      Efficiency: 0,988899
        4 threads:   25,735392      Speedup:  3,927592      Efficiency: 0,981898
        8 threads:   18,733431      Speedup:  5,395601      Efficiency: 0,674450
       16 threads:   14,682482      Speedup:  6,884266      Efficiency: 0,430266

    CA matrix size (512 x 512)
        1 thread :  406,222751      Speedup:  1             Efficiency: 1
        2 threads:  205,633711      Speedup:  1,975467      Efficiency: 0,987733
        4 threads:  109,032439      Speedup:  3,725705      Efficiency: 0,931426
        8 threads:   72,203691      Speedup:  5,626066      Efficiency: 0,703258
       16 threads:   41,620500      Speedup:  9,760160      Efficiency: 0,610010

    CA matrix size (992 x 992)
        1 thread :  1527,508490     Speedup:  1             Efficiency: 1
        2 threads:   775,265994     Speedup:  1,970302      Efficiency: 0,985151
        4 threads:   415,489074     Speedup:  3,676410      Efficiency: 0,919102
        8 threads:   260,839269     Speedup:  5,856129      Efficiency: 0,666005
       16 threads:   149,464295     Speedup: 10,219888      Efficiency: 0,638743
}

After 1000 steps: {
    CA matrix size (992 x 992)
        1 thread : 20792,490355     Speedup:  1             Efficiency: 1
        2 threads: 10716,475906     Speedup:  1,940235      Efficiency: 0,970117
        4 threads:  5750,790332     Speedup:  3,615588      Efficiency: 0,903897
        8 threads:  3424,068797     Speedup:  6,072451      Efficiency: 0,759056
       16 threads:  1980,622202     Speedup: 10,497959      Efficiency: 0,656122
}
```

Fig. 5: Le misurazioni dei tempi

Considerazioni

Nota: La grafica (e la funzione *MPI_Gather*() utilizzata per comunicare al **rank** che si occupa di quest'ultima) sono stati scorporati dal calcolo dei tempi mostrati in figura, in quanto essa è stata utilizzata solo a scopo dimostrativo circa l'effettivo funzionamento dell'automa e inoltre altererebbe di molto le misurazioni,

Dando uno sguardo all'immagine precedente, possiamo notare come lo **speedup** (ovvero il rapporto fra il tempo impiegato in maniera sequenziale e il tempo impiegato in parallelo) cresca all'aumentare del numero di processi impiegati; ciò nonostante, i risultati rimangono lontani dall'**efficienza** massima auspicabile (ovvero un rapporto tra speedup e numero di processi uguale ad 1).

Per completezza e curiosità sono state anche effettuate le stesse misurazioni CON l'impiego della *MPI_Gather*(), ed è stato notato come quest'ultima introduca una tangibile quantità di **overhead** (tempo extra impiegato oltre alla computazione, solitamente nelle comunicazioni), soprattutto per quanto riguarda 8 e 16 processi.

I risultati sono visibili nel file di testo "*times.txt*" allegato alla presente relazione.